

**Войтович А.А.,\***  
**Похмурська Г.В.,\***  
**Студент М.М.,\*\***  
**Студент О.З. \*\***

\*Національний університет  
 “Львівська політехніка”,  
 м. Львів, Україна  
 \*\*Фізико - механічний інститут  
 ім. Г. В. Карпенка НАН України,  
 м. Львів, Україна  
 E-mail: andrsibox@gmail.com

## ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ТА РУЙНУВАННЯ НАПЛАВЛЕНИХ ШАРІВ З ПОРОШКОВИХ ДРОТІВ СИСТЕМИ Fe-Cr-B-C ЗА УДАРНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

УДК 620.178.16

Досліджено наплавлені шари із ПД Х10Р4Г2С, що сформовані наплавленням під шаром флюсу за умов впливу горизонтальної та вертикальної вібрації. Проаналізовано особливості руйнування, наплавленого металу за умов ударних навантажень. Встановлено, що горизонтальна вібрація за амплітуди коливання 0,3 мм підвищує ударну зносостійкість на 1,2 рази

**Ключові слова:** порошкові дроти, ударні навантаження, мікроструктура, морфологія поверхні.

### Вступ

Для зміцнення та відновлення зношених елементів устаткування в різних галузях виробництва широко використовують технологію наплавлення порошковими дротами (ПД) системи Fe-Cr-B-C, щоб отримати задовільну зносостійкість відновлених поверхонь за різних умов зношування [1]. В мікроструктурі наплавлених шарів з ПД цієї системи у м'якій матриці FeCr формуються тверді фази карборидів FeCrB<sub>2</sub>C довжиною 20 ... 300 і шириною 10 ... 30 мкм. Саме ці включення забезпечують високу зносостійкість наплавленому металу за зношування закріпленим і незакріпленим абразивом [2]. Разом з тим за ударних навантажень така мікроструктура виявила занижений опір до зношування [3]. Завдяки гострокутній морфології включень твердої фази (FeCr)B<sub>2</sub>C в околі їх вершин на мікроструктурному рівні виникає концентрація напружень і це сприяє зародженню мікротріщин у наплавленому металі та пришвидшує його руйнування.

Вплив вібрації під час процесу зварювання на мікроструктуру та зносостійкість наплавленого металу за використання закріпленого і незакріпленого абразиву вже досліджували [4, 5]. Але в цих роботах не контролювали величину переміщень і не розділяли вплив їх вертикальних і горизонтальних складових.

Мета роботи дослідити особливості руйнування за випроб ударом металу, наплавленого ПД на основі ферохромбору ПД Х10Н4Г2С під шаром флюсу за контролю переміщень внаслідок вертикальної та горизонтальної вібрації під час зварювання.

### Методика досліджень

Захисні шари сформували за схемою (рис. 1) із ПД Х10Н4Г2С (табл. 1) під шаром флюсу ОСЦ 45м з таким хімічним складом (mass %) SiO<sub>2</sub> 44%, MnO 44%, MgO <2,5%, CaF<sub>2</sub> 6–9%, CaO <6,5%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> <2, S <0,15%, P <0,15%. Діаметр ПД Х10Н4Г2С–2,6 мм, коефіцієнтом заповнення–25 %. Наплавлення здійснено на зразки із низьковуглецевої сталі Ст3сп розміром 300×150×10 мм.

Налагодження вібраційного столика для визначення амплітуди коливання виконано зніманням механічних характеристик з підкладки за допомогою двоканального USB-осцилографа (аналогово-цифрового перетворювача IRIS фірми “Відео Інтернет Технології”), підключеного до комп'ютера.

Горизонтальну і вертикальну вібрацію стола виконували з частотою коливання 100 Hz, амплітудою 0, 0,07, 0,3 мм. Перед наплавленням дріт та флюс просушували за температури 250°C, упродовж 2,5 h. Наплавляли за допомогою підвісної головки АБС із джерелом живлення (генератор ПСО 500), із перекриттям валиків 3 0%, за таким режимом: зварювальний струм 450 ... 480 А, напруга дуги 30 ... 32 V, швидкість подачі 96 м/х, швидкість зварювання 62 м/х.

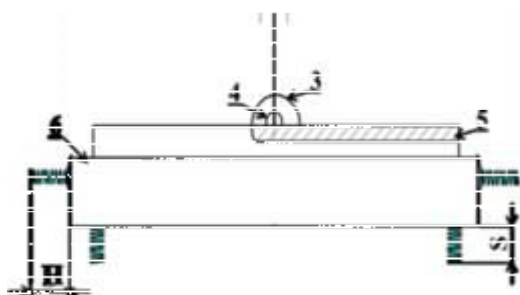


Рис. 1 – Принципова схема наплавлення:

1 – електрод з ПД; 2 – механізм подачі;

3 – металева пластина; 4 – дуга;

5 – зразок; 6 – вібраційний стіл;

S – амплітуда коливання вертикальної вібрації;

H – амплітуда коливання горизонтальної вібрації

за температури 250°C, упродовж 2,5 h. Наплавляли за допомогою підвісної головки АБС із джерелом живлення (генератор ПСО 500), із перекриттям валиків 3 0%, за таким режимом: зварювальний струм 450 ... 480 А, напруга дуги 30 ... 32 V, швидкість подачі 96 м/х, швидкість зварювання 62 м/х.

Фазовий аналіз виконано за допомогою рентгенівського дифрактометра D8 Discover з кобальтовим випромінюванням. Визначення хімічного складу, дослідження мікроструктури та фрактографічні дослідження, виконано на електронному мікроскопі EVO 40 XVP. Ударне зношування (рис. 2) оцінили за сили удару 12 кДж кулькою Ø25 мм зі сталі ШХ 15, яка падала на досліджувану поверхню з частотою 40 с<sup>-1</sup>. Тривалість експерименту 3600 с. Втрату маси зразків визначали з точністю до  $2 \times 10^{-4}$  г на електронній вазі.

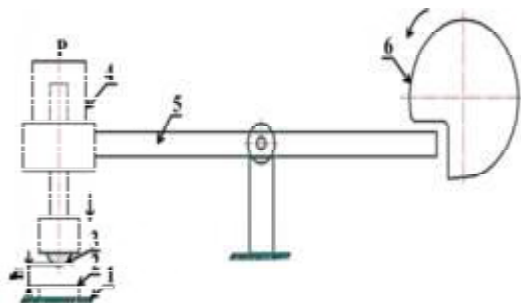


Рис. 2 – Принципова схема установки для дослідження ударного зношування зразків:  
1 – основа; 2 – зразок; 3 – індентор; 4 – наважка;  
5 – коромисло; 6 – ексцентрик;  
h – відстань від зразка 10 мм

зв'язані з матрицею (рис. 4, а). Таку несприятливу морфологію великих включень залізохромистих боридів спостерігали і на гребені валків, і в зоні їх перекривання (рис. 4, б). Спектральним аналізом встановили хімічний склад фаз (табл. 2). У великих включеннях (рис. 4, а, спектр 1) містилося від 16,0 до 18,0 mass % Cr, та до 3,0 mass % B і тому ці включення класифікували як залізохромисті бориди (1,6 Fe + 0,4 Cr)B. У дрібних включеннях (рис. 4, б, спектр 2) вміст бору становив від 1,5 до 2,0 mass %, що відповідало складу бориду заліза Fe<sub>2</sub>B. У складі матриці вміст Cr змінювався від 4 до 4,5 mass % (рис. 4, б, спектр 3 у табл. 2).

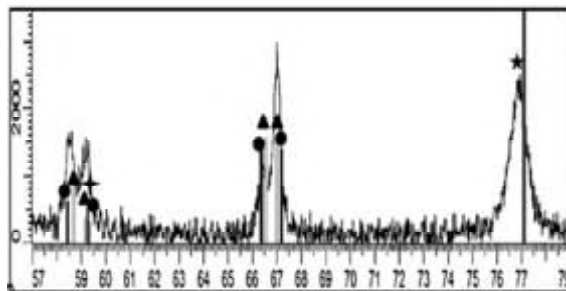
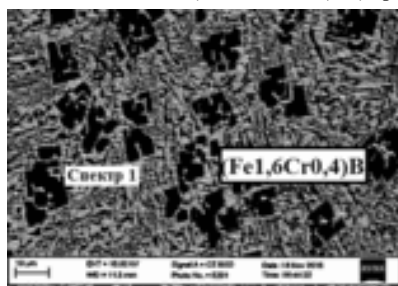
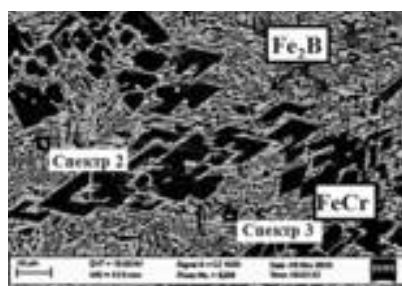


Рис. 3 – Фазовий склад наплавлених шарів:  
★ – FeCr (ферит); ★ – Fe<sub>2</sub>B (борид заліза);  
★ – (1,6 Fe + 0,4 Cr)B (борид заліза та хрому); ★ – 0,94 Fe + 0,06 C (аустеніт)



а



б

Рис. 4 – Характерні структурні складові на гребенях (а) та в зоні перекриття (б) валків у шарах, наплавлених ПД Х10Р4Г2С без використання вібрації під час наплавлення. Точки відповідають місцям спектрального аналізу структурних складових у наплавлених шарах, результати якого наведені у табл. 2

Металографічні дослідження показали, що вібрація під час формування наплавлених шарів з ПД впливає і на морфологію, і на розміри фазових включень в мікроструктурі отриманих шарів (рис. 5, рис. 6). Зокрема, за її використання боридні включення подрібнюються та згладжується їх гострокутна морфологія (рис. 5, рис. 6). Це чіткіше виявляється за використання горизонтальної вібрації під час наплавлення за більшої амплітуди переміщень.

Таблиця 1

Хімічний склад ПД Х10Р4Г2С

Cr	B	Mn	Si	Fe
10	4	2	1	решта

### Обговорення результатів

Результати досліджень фазового складу наплавлених шарів (рис. 3), отриманих без застосування вібрації під час зварювання, виявили в структурі наплавленого шару на фоні ферохромової матриці дрібні включення боридів заліза Fe<sub>2</sub>B та великі, неправильної форми з гострокутною морфологією включення залізохромистих боридів (1,6 Fe + 0,4 Cr)B, а також ділянки залишкового аустеніту (0,94 Fe + 0,06 C),

Середній вміст елементів у складі структурних складових у наплавлених шарах з на основі ПД X10P4Г2С, встановлений мікроспектральним аналізом, mass %

Елемент / № спектру	Cr	B	Si	Mn	Fe
Спектр 1	18,1	2,9	-	2,8	76,2
Спектр 2	1,2	2,5	0,5	0,7	95,1
Спектр 3	3,9	-	2,1	1,4	92,6
Спектр 4	4,3	-	2,5	1,4	91,8
Спектр 5	17,2	2,8	0,3	2,4	76,7

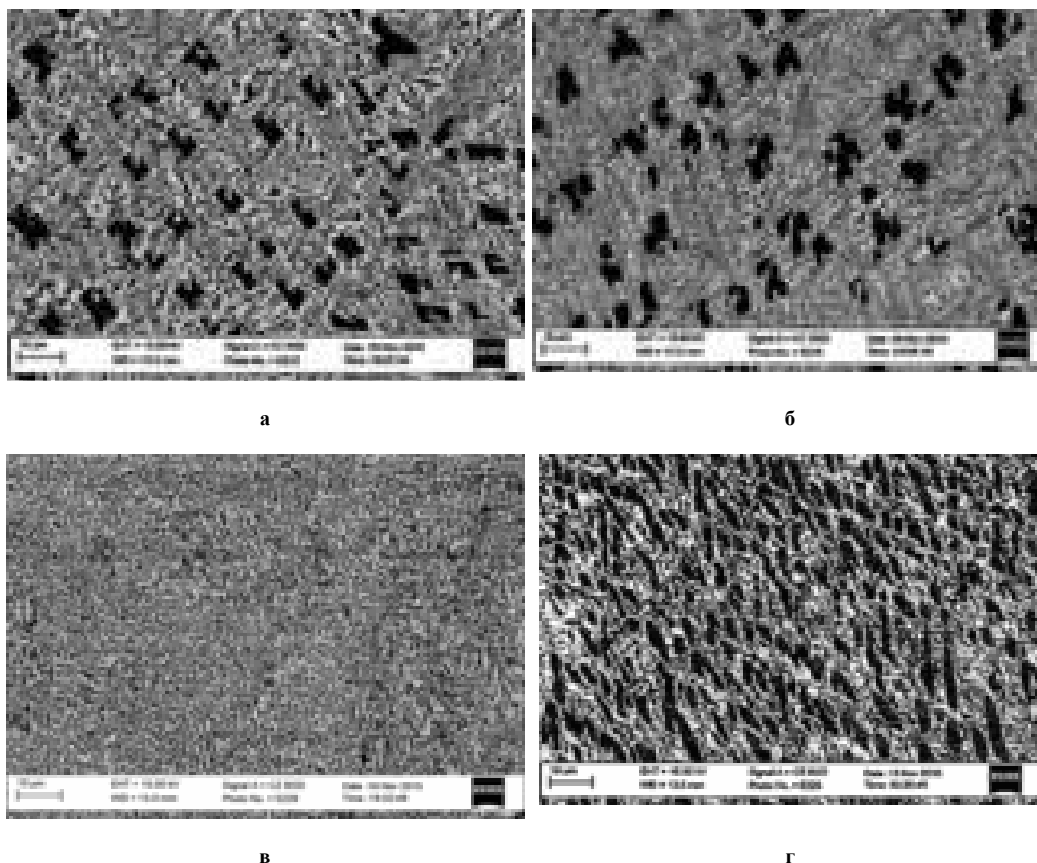


Рис. 5 – Характерні структурні складові на гребенях (а, в) та в зоні перекриття (б, г) валиків у шарах, наплавлених ПД X10P4Г2С з використанням вертикальної вібрації за амплітуди переміщення 0,07 (а, б) та 0,3 (в, г) мм

Крім того за використання горизонтальної вібрації під час наплавлення у структурі наплавленого шару виявили значну кількість залишкового аустеніту, який у вигляді досить великих округлих зерен залишається в структурі валка навіть після застосування вищої амплітуди вібрації (рис. 6, в). І лише в зоні перекриття валиків така особливість зникає (рис. 6, г). Загалом наявність таких зерен залишкового аустеніту вважали позитивним чинником впливу на роботоздатність наплавленого шару, адже, завдяки високій пластичності аустеніту ці зерна можуть полегшувати релаксацію напружень за впливу експлуатаційних навантажень на відновлені елементи устаткування.

Для кількісного оцінювання розмірів структурних складових у наплавлених шарах використали програмне забезпечення Axio Visio і порівняли включень за їх площею у площині шліфів. Встановили, що у зоні валика площа включень (1,6 Fe + 0,4 Cr)В, утворених без застосування вібрації під час наплавлення, коливалась від 10 до 150  $\mu\text{m}^2$ , а її середнє значення становило 50  $\mu\text{m}^2$  (рис. 7, а). За прикладання вібрації (вертикальної, рис. 7, б, чи горизонтальної, рис. 7, в) площа фаз (1,6 Fe + 0,4 Cr)В у структурі металу на гребенях валиків істотно зменшується. Причому в міру зростання амплітуди вібрації зразків під час наплавлення ефект подрібнення боридів підсилюється. Зокрема за амплітуди вібрації 0,07 мм площа боридних включень зменшується в 10, 18 разів, за вертикальної і горизонтальної вібрації відповідно. З підвищенням амплітуди вібрації до 0,3 мм розміри твердих частинок ще в більшій мірі диспергуються і в середньому їх площа становить всього 1 ... 3  $\mu\text{m}^2$ . Причому за використання вертикальної вібрації ефект подрібнення боридів сильніший.

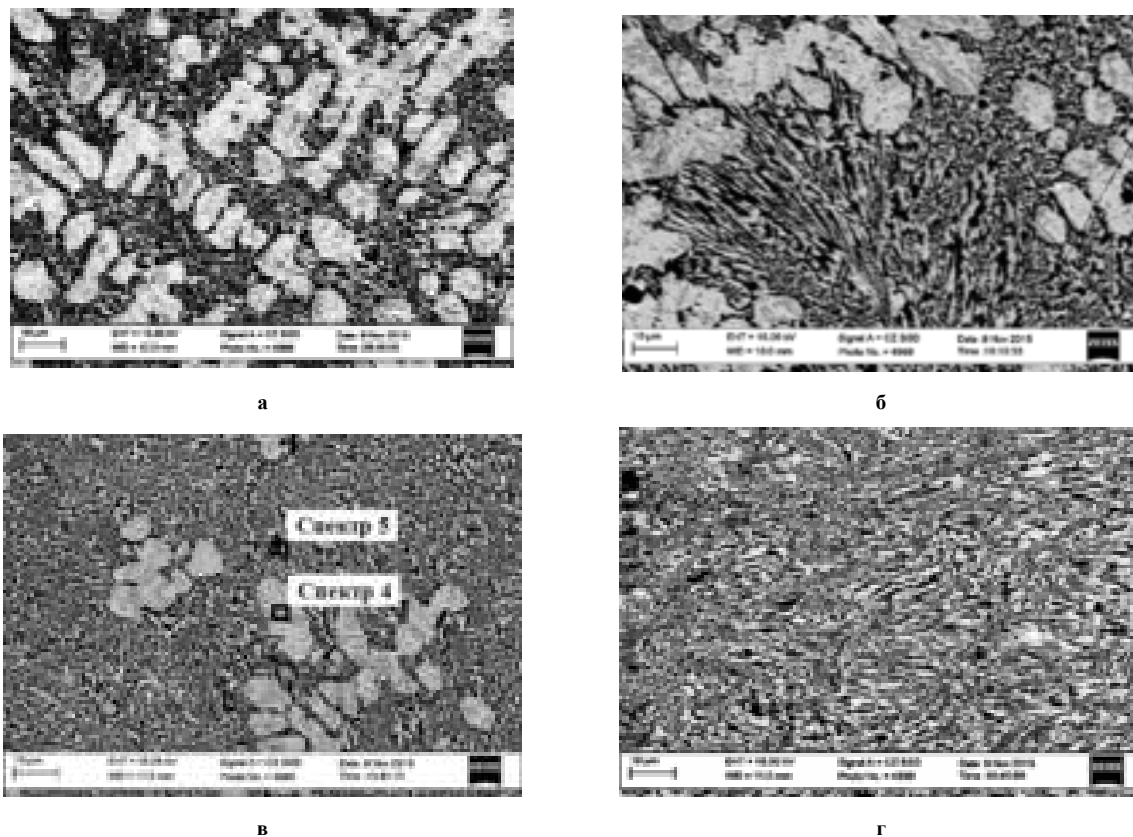


Рис. 6 – Характерні структурні складові на гребенях (а, в) та в зоні перекриття (б, г) валків у шарах, наплавлених на основі ПД Х10Р4Г2С з використанням горизонтальної вібрації за амплітуди переміщення 0,07 (а, б) та 0,3 (в, г) mm. Точки відповідають місцям спектрального аналізу структурних складових у наплавлених шарах, результати якого наведені у табл. 2

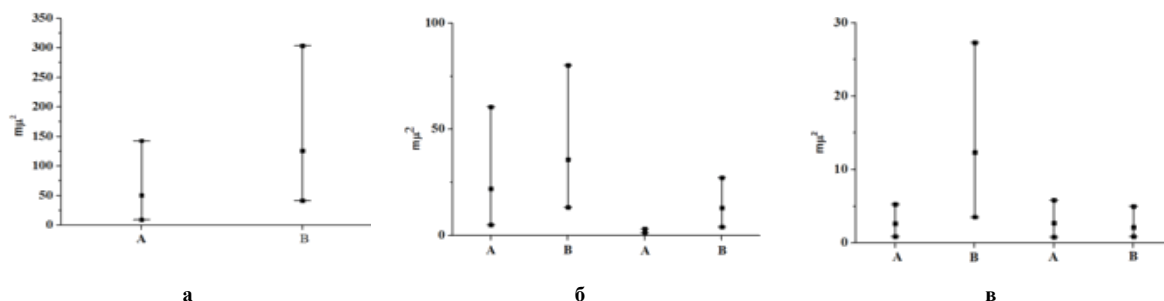


Рис. 7 – Зміна площі  $S$  включень  $(1,6 \text{ Fe} + 0,4 \text{ Cr})\text{B}$ , виявлених на гребенях (А) та в зоні перекриття (В) валків у структурі шарів, наплавлених ПД Х10Р4Г2С без вібрації (а) і за її використання (вертикальна (б) і горизонтальна (в) амплітудою 0,07 (1) та 0,3 (2) mm)

Порівнявши за розмірами бориди у зонах перекриття валків, відзначили, що, по-перше, вони є більшими, ніж на гребенях валків, а, по-друге, слабо знижуються за використання низької амплітуди вібрації (0,07 mm), але істотно (середня площа боридів зменшується від 130  $\text{m}\mu^2$  без вібрації до 10 і 3  $\text{m}\mu^2$  відповідно) після застосування вертикальної і горизонтальної вібрації з амплітудою 0,3 mm.

Оцінили також співвідношення площ, що припадали на відповідні фази у структурі наплавлених шарів, до площ аналізованих шліфів  $\rho$ , вважаючи цей показник за густину цих структурних складових на одиничній площі шліфа. Виявили, що вібрація впливає на густину розподілу твердих фаз  $(1,6 \text{ Fe} + 0,4 \text{ Cr})\text{B}$  в перерізі і валків, і в зоні їх перекривання (рис. 8). За вертикальної вібрації (рис. 8 а) з амплітудою 0,07 mm густина боридів на одиничній площі стає в 1,6 рази нижчою, ніж у наплавлених шарах без вібрації. Однак за збільшення амплітуди колювання до 0,3 mm густина фази  $(1,6 \text{ Fe} + 0,4 \text{ Cr})\text{B}$  збільшується у понад 4 рази. За дії горизонтальної вібрації із матриці виділяються світлі включення FeCr, що містять 4 ... 6 mass % Cr (табл. 2, рис. 6, в, спектр 4). З аналізу даних, наведених на (рис. 8, б), очевидно, що за амплітуди вібрації 0,07 mm і на гребені валіка, і в зонах їх перекриття густина фази  $(1,6 \text{ Fe} + 0,4 \text{ Cr})\text{B}$  зросла до 0,25. Крім того значну роль почала відігравати фаза FeCr, кількість якої досягла 0,4 ... 0,45.

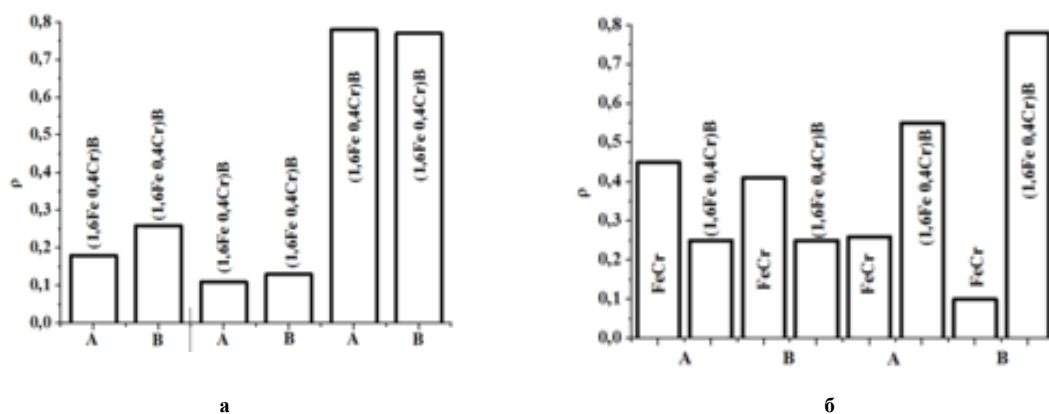


Рис. 8 – Відносна площа  $\rho$  різних фазових складових на одиничній площі шліфів, визначена на гребнях (А) та в зоні перекриття (В) валиків, наплавлених на основі ПД Х10Р4Г2С без вібрації і з використанням вертикальної (а) і горизонтальної (б) вібрації за амплітуди 0,07 (1) та 0,3 (2) мм; ( $\rho$  – безрозмірна величина)

З підвищенням амплітуди горизонтальної вібрації до 0,07 mm (рис. 8, б) виявили, що і на гребнях валиків, і в зоні їх перекриття густина фази (1,6 Fe + 0,4 Cr)B істотно (до 0,55 і до 0,78 відповідно) зростає (порівняно з амплітудою вібрації 0,07 мм). Причому в зоні перекриття валиків значення  $\rho$  досягло того самого рівня, що і за використання вертикальної вібрації 0,3 мм під час наплавлення. Але при цьому до рівня 0,1 знизилася густина фази FeCr.

Отже внаслідок використання вібрації під час процесу наплавлення ПД Х10Р4Г2С досягли істотного подрібнення боридів, позбулися їх гострокутної морфології та збільшили їх густину на одиничній площі наплавленого металу. Всі ці ознаки є чинниками позитивного впливу на роботоздатність наплавленого металу. Для обґрунтування їх позитивного впливу провели серію випроб отриманих наплавлених шарів на зносостійкість.

### Зносостійкість наплавлених шарів

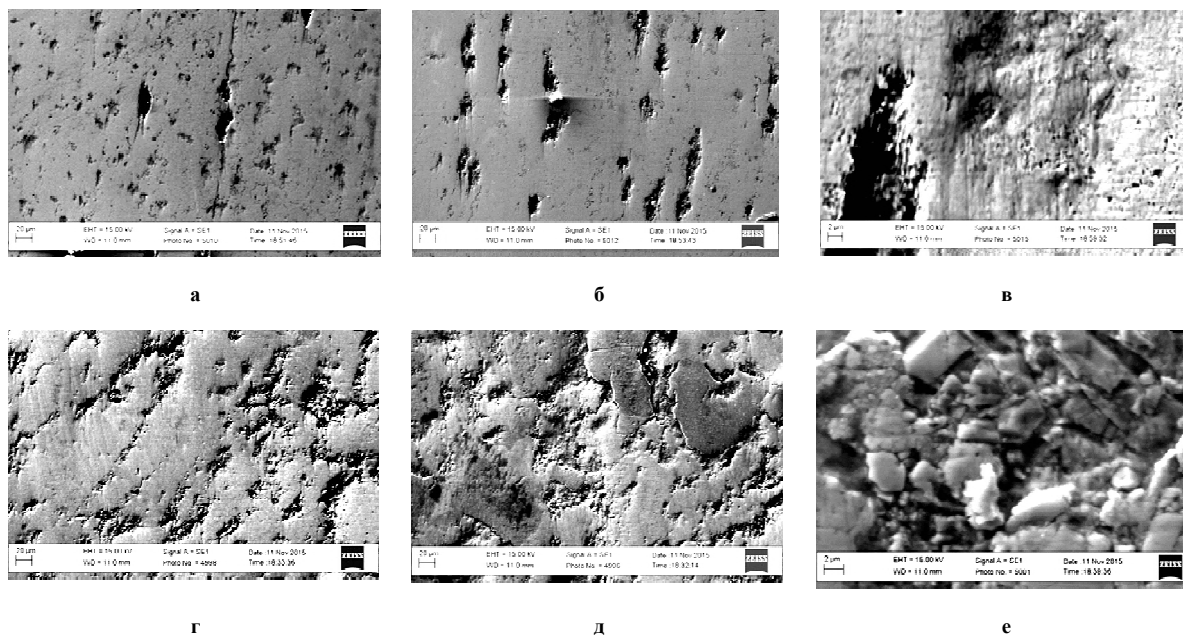
Дослідили зносостійкість наплавлених шарів за прикладання ударних навантажень. Виявили, що за величиною втрати маси внаслідок випроб на ударне зношування зона гребенів валиків відрізняється від зони їх перекриття, причому неоднозначно (табл. 3). Якщо за вертикальної вібрації знос гребенів валиків сильніший, ніж зон їх перекриття, то за горизонтальної вібрації – навпаки. Причому така тенденція зберігається незалежно від амплітуди вібрації. Але у будь-якому разі міра зношування зменшується за використання вібрації під час наплавлення. Отриманий результат добре корелює з розмірами боридів у наплавлених шарах, отриманих за використання різних режимів вібрації (рис. 7). Адже чим більші розміри боридів, тим більший знос наплавленого металу. Зменшення зносу зони перекриття валиків порівняно з властивим їх гребням пояснюється вторинною перекристалізацією в зоні перекриття валиків, що дає можливість структурним складовим зменшитися за розмірами. Найменша величина зносу в зоні перекриття валиків за використання горизонтальної вібрації добре корелює і з найменшими розмірами боридів (рис. 7, в), і з максимальною (з аналізованих) їх густиною на одиничній площі шліфа (рис. 8, б).

Таблиця 3

Втрата маси наплавлених шарів після ударного зношування, г			
Характер вібрації	Амплітуда вібрації, mm	Гребінь валика	Зона перекриття
Без вібрації	0	0,009	0,004
Вертикальна вібрація	0,07	0,005	0,003
	0,3	0,004	0,002
Горизонтальна вібрація	0,07	0,0005	0,0018
	0,3	0,0007	0,0023

Оскільки втрату маси зразків заміряли з точністю до третього знаку після коми, то щоб переконатися у достовірності зроблених висновків проаналізували характер ушкоджень на поверхнях гребенів валиків та в зонах їх перекриття після випроб на ударне зношування. На поверхні наплавленого ПД металу без застосування вібрації зафіксували більшу локальність пошкоджень на поверхнях гребенів валиків (рис. 9, а, в, д), ніж в зонах їх перекриття (рис. 9, б, г, е). Пошкодження поверхні на гребнях валиків розпочиналося внаслідок пластичного деформування поверхні, порушення когезивного зв'язку між тверди-

ми боридами і пластичнішою матрицею з вилущуванням спочатку більших, а потім і дрібніших боридів з поверхні, або через їх недостатню силу зчеплення, або ж через розколювання, а тоді вже вилущування їх по частинах з матриці (рис. 9, а). Напруження, які виникали в околі утворених лінзоподібних виразок були іноді достатніми для зародження від їх вершин тріщин. Можливо, що такі ж тріщини поширюються також і в глибину наплавленого шару. Адже твердість наплавленого матеріалу становила 55 - 57 HRC, що уможливило розтріскування, яке сприяє релаксації напружень першого роду у наплавленому шарі. В міру зростання тривалості випроб густина ударів зростала, що супроводжувалося руйнуванням перетинок між найближчими ямками, з яких вилетіли великі бориди (рис. 9, б). На цьому етапі у руйнуванні починали брати участь дрібні бориди  $Fe_2B$ , руйнування когезивного зв'язку яких з матрицею створювало в наплавленому шарі дрібні пори, які сприяли поступовому зношуванню металу в перетинках між великими виразками (рис. 9, в). При цьому глибокі, чітко окреслені виразки на зношених верхніх гребенях валиків наплавленого шару свідчать про вибірковість процесу зношування з його прив'язкою до великих боридів.



**Рис. 9 – Морфологія ушкоджень на поверхнях гребенів валків (а - в) та в зонах їх перекриття (г - е) після випроб наплавленого металу з використанням на основі ПД X10P4Г2С на ударне зношування. Напрямок накладання валків на верхньому ряді фрактограм горизонтальний, а на нижньому – під кутом 90°**

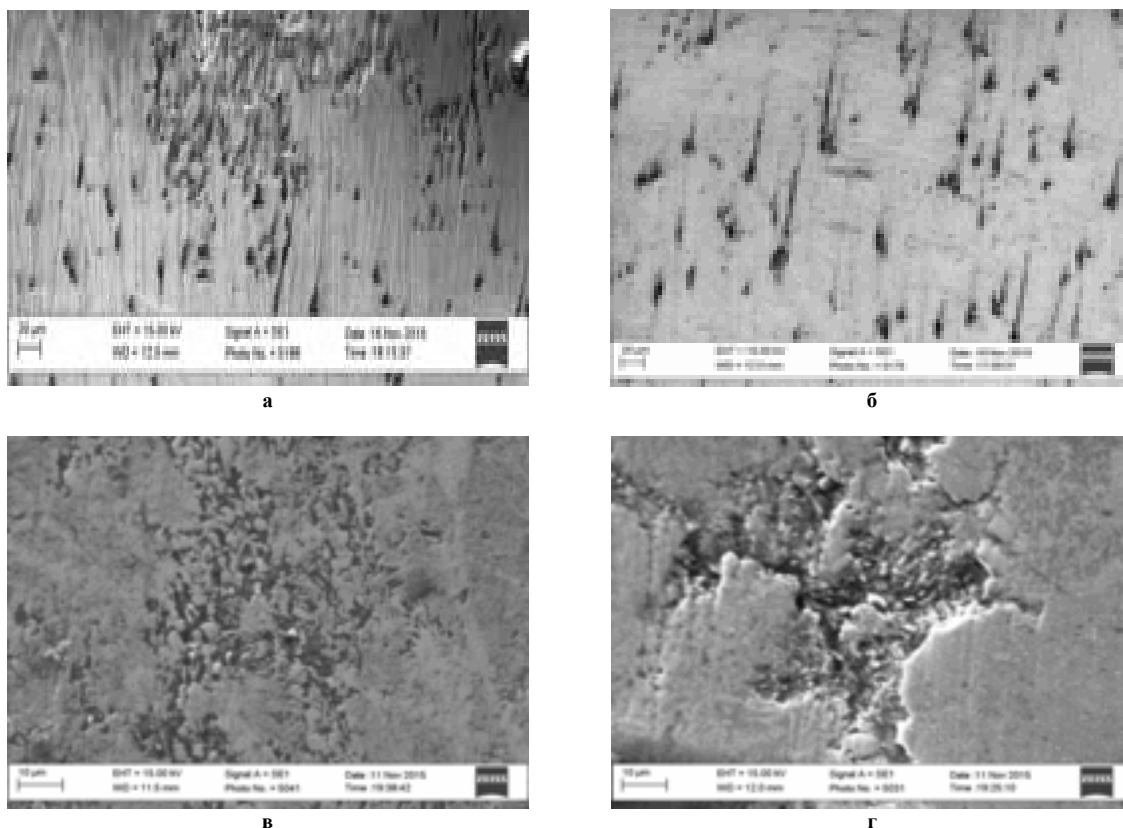
В зоні перекриття валків локальність зношування поверхні порушується і спостерігаємо рівномірне зношування, яке властиве поверхні на гребенях валків лише на етапі руйнування перетинок між великими виразками. У цьому випадку попри більші розміри і густину великих боридів ( $1,6 Fe + 0,4 Cr$ )В не їх вилущування і об'єднання виразок, утворених на їх місці, були відповідальні за зношування поверхні, а порушення зв'язків дрібних боридів  $Fe_2B$  з матрицею внаслідок пластичного деформування поверхні з утворенням розпоршених дрібних пошкоджень, що і забезпечило поступове зношування поверхні на невелику глибину (рис. 9, г, д). І лише на локальних ділянках, де великі бориди розташовувалися великими щільними конгломератами пошкодження поверхні відбувалося шляхом швидкого розтріскування та вилущування розтріснутих часточок (рис. 9, е).

Отже різна локальність процесу зношування наплавленого ПД X10P4Г2С, спричинена різною здатністю матриці навколо великих боридів релаксувати напруження від ударного навантаження, відповідальна за особливості пошкоджень на поверхнях металу на гребенях валків і в зонах їх перекривання.

Оскільки за даними про втрату маси наплавлених шарів після ударного зношування (табл. 3) вібрація підвищує опір зношуванню, то проаналізували особливості її впливу на пошкодженість поверхні наплавленого ПД металу.

За використання вертикальної вібрації з невисокою амплітудою (0,07 mm) під час наплавлення залізохромістї бориди істотно подрібнюються (рис. 5, б). Як результат, на зношених поверхнях і гребенях валиків, і в зонах їх перекривання зношування відбувалося за таким самим механізмом, як і без застосування вібрації, але зросла локальність зносу, бо викришувалися менші за розмірами бориди, сила зчеплення яких з матрицею вища. Відначили орієнтованість стрічок з виразок, спричинених викришуванням боридів, поперек наплавлених валиків, що зв'язано з напрямом відведення тепла. Оскільки розтріскування це дієвий спосіб релаксації напружень у наплавленому шарі, то перетинки між цими ви-

разками легко руйнувалися (рис. 10, а, б). Але оскільки не тріщини спричиняють знос, а лише викришені бориди, а їх розміри (рис. 7, б) і площа, що припадає на них на одиницю площі шліфа істотно менші (рис. 8, а), ніж без використання вібрації під час зварювання, то зрозуміло, що і величина втрат від зношування за вібрації повинна була зменшитися. Це узгоджується з результатами оцінювання величини зносу ваговим методом (табл. 3).



**Рис. 10 – Морфологія ушкоджень на поверхнях гребенів валків (а, в) та в зонах їх перекриття (б, г) після випроб на ударне зношування наплавленого металу з на основі ПД Х10Р4Г2С, отриманого з використанням вертикальної вібрації амплітудою 0,07 (а, б) та 0,3 (в, г) mm. На фрактограмах напрямок накладання валків - горизонтальний**

Зі збільшенням амплітуди вертикальної вібрації до 0,3 mm і на гребені валиків, і в зоні їх перекриття виявили ознаки загального порівняно неглибокого зношування (рис. 10, в, г), що є наслідком диспергування зміцнювальної фази від 1 до 8  $\mu\text{m}^2$  (рис. 7, б). Лише подекуди на поверхні в зоні перекриття валків спостерігали елементи локального зносу з розтріскуванням (рис. 10, в), але ці фрагменти не мали визначального значення. Як особливість відзначили втрату орієнтованості дефектів, яку спостерігали за інших умов наплавлення. Це ускладнює ріст тріщин під час руйнування перетинок між виразками і є ознакою сильнішого зв'язку зносостійких фаз з матрицею.

За використання горизонтальної вібрації змінився фазовий стан і морфологія структури наплавленого шару, з'явилися округлі частинки FeCr та дисперсні тверді частинки залізохромистих боридів. Така структурно-фазова композиція якісно змінює характер впливу ударних навантажень. Основним чинником зношування металу і на гребенях валиків, і в зоні їх перекриття стає здатність наплавленого шару пластично деформуватися і в такий спосіб релаксувати напруження, що виникають під час випробування на ударне зношування. Сліди пластичного деформування матриці наплавленого металу є характерною ознакою рельєфу поверхні наплавленого металу після випроб (рис. 11, рис. 12). На прикладі рельєфу в зоні валика видно, як внаслідок пластичного деформування поверхні на пізніших етапах зношування відбувається відлущування тоненьких шарів наплавленого шару (рис. 11, в). Оскільки під відлущеними фрагментами спостерігали сліди від дрібних включень, то зробили висновок, що причиною такого відлущення поверхневих шарів є втрата когезивного зв'язку дрібних включень з матрицею з відшаруванням наклепаного поверхневого шару від основи.

В зоні перекриття валків інтенсивність зношування була дещо вищою, оскільки пластична деформація матриці сприяла відколюванню країв розщелин в зонах локалізації більших за розмірами, ніж на гребенях валків боридів (1,6 Fe + 0,4 Cr)B (рис. 11, б, г). Але попри це характер зношування стає рівномірніший і менш глибокий, ніж у випадку застосування вертикальної вібрації.

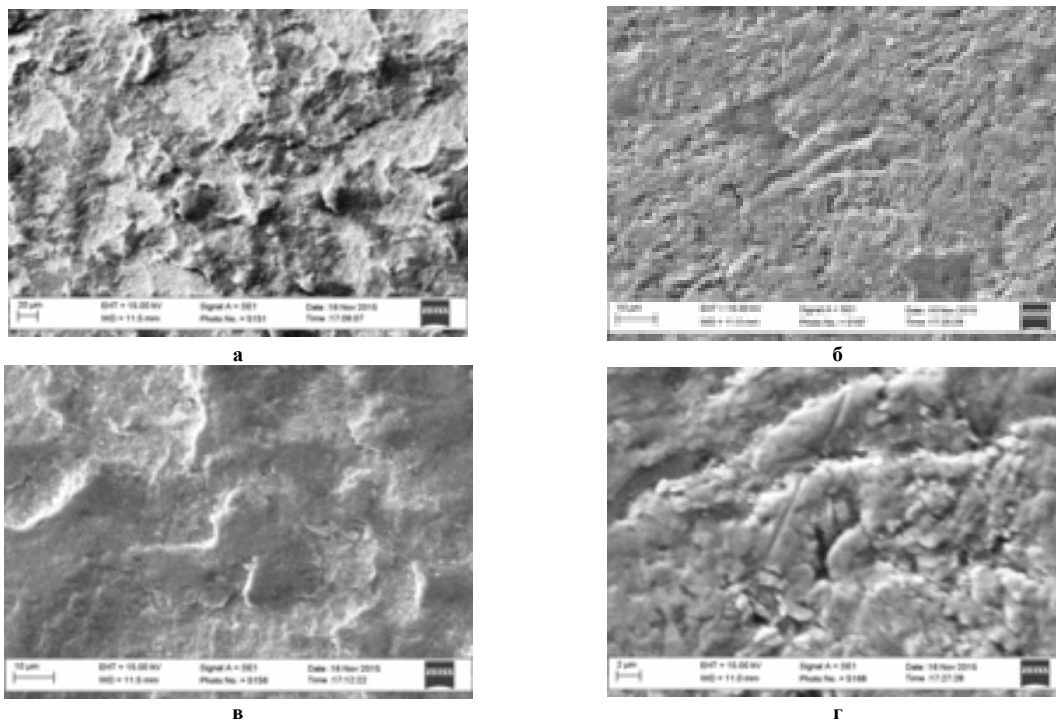


Рис. 11 – Морфологія поверхні зношування на гребенях (а, в) та в зоні перекриття валків (б, г) в шарах, наплавлених ПД X10P4Г2С, за дії горизонтальної вібрації амплітудою 0,07 mm

Зношування наплавленого металу, отриманого за амплітуди горизонтальної вібрації 0,3 mm, відбувається за таким самим механізмом, як і за меншої амплітуди вібрації. Але зменшилася кількість та зростає локальність ділянок, відколюванню яких сприяла пластична деформація (рис. 12). Це властиво металу на гребені валків і в зоні їх перекриття та пов'язано із невисокою густиною пластичної фази FeCr та найвищою дисперсністю твердої фази (1,6 Fe + 0,4 Cr)B (переріз включень змінювався від 1 до 5  $\mu\text{m}^2$ ) у наплавленому за таких умов шарах. Відзначили також найнижчу з усіх аналізованих варіантів формування наплавленого шару схильність поверхневих шарів до розтріскування.

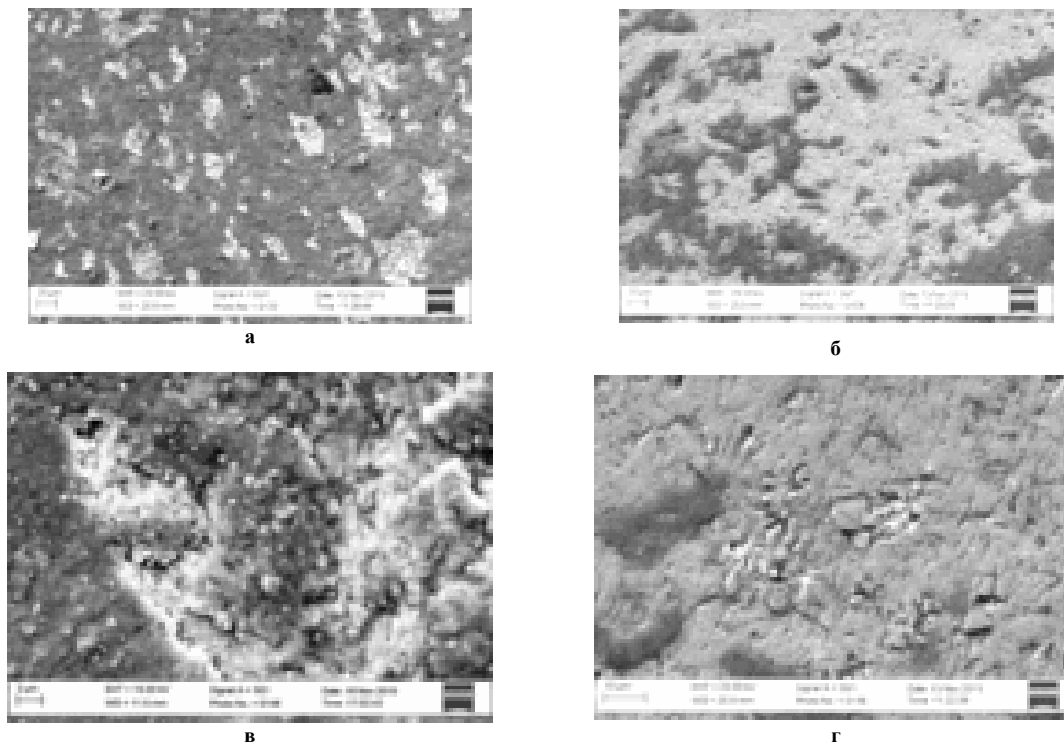


Рис. 12 – Морфологія поверхні зношування на гребенях (а, в) та в зоні перекриття валків (б, г) в шарах, наплавлених з на основи ПД X10P4Г2С, за дії горизонтальної вібрації амплітудою 0,3 mm.



Отже і в зоні перекриття валків, і на їх гребенях поверхневий шар металу, наплавленого з використанням горизонтальної вібрації, характеризується високою здатністю релаксувати напруження шляхом пластичного деформування поверхневих шарів та найнижчою схильністю до розтріскування, що пояснює його найвищий опір зношуванню за ударних випроб. А досягнуто це внаслідок структурно-фазових перетворень і зміни морфології та розмірів зміцнювальних фаз в наплавленому шарі за накладання горизонтальної вібрації під час процесу наплавлення.

### Висновки

1. Досліджено мікроструктуру наплавлених шарів із ПДХ10Р4Г2С, що наплавлені автоматичним методом під шаром флюсу ОСЦ45м, за умов вертикальної та горизонтальної вібрації при частоті 100 Hz, амплітуді коливання 0, 0,07, 0,3 мм. Вібраційна обробка спонукає до подрібнення та округлення твердої фази (1,6 Fe + 0,4 Cr)В.

2. Встановлено, що наплавлені шари за умов горизонтальної вібрації в зоні перекриття валків і на їх гребенях, характеризується високою здатністю релаксувати напруження шляхом пластичного деформування поверхневих шарів та найнижчою схильністю до розтріскування, що пояснює його найвищий опір зношуванню за ударних випробувань.

### Література

1. Yuksel N. 1Wear behavior–hardness–microstructure relation of Fe–Cr–C and Fe–Cr–C–B based hardfacing alloys / N. Yuksel, S. Sahin // *Materials and Design* 58. – 2014. – С. 491-498.
2. Sorour A. A. 2Understanding the solidification and microstructure evolution during CSC-MIG welding of Fe–Cr–B-based alloy / A. A. Sorour, R. R. Chromik, R. Gauvin, M. Brochu // *Material scharacterizaon* 86. – 2013. – С. 127 - 138
3. Похмурська Г. В. Ударно-абразивне зношування поверхневих шарів, наплавлених порошковими дротами системи Fe -Cr-B- C /Г. В. Похмурська, А. А. Войтович // *Науковий вісник НЛТУ України*. – 2015. – Вип. 25.3. – С. 129 - 135.
4. Shufeng Wanga. Improving microstructure and wear resistance of plasma clad Fe-based alloy coating by a mechanical vibration technique during cladding / Shufeng Wanga, Huiqi Li, Xiang Chenb, Jing Chia, Min Li, Lu Chai, Hui Xua // *Materials Science and Engineering A* 528. – 2010. – С. 397-401.
5. Пулька Ч. В. Влияние вибраций детали в процессе наплавки на структуру и свойства металла / Ч. В. Пулька, О. Н. Шаблей, В. С. Сенчишин, М. В. Шарык, Г. Н. Гордань // *Автоматическая сварка*. – № 1.,705. – 2012.

Поступила в редакцію 02.12.2015

Voytovich A. A., Pohmurska H.V., Student M. M. Student O. Z. **Features of formation and destruction of clad layers cored wires system Fe-Cr-BC for shock.**

Investigated the deposited layers of PD Cr10B4Mn2Si that formed during welding flux influence the conditions of horizontal and vertical vibrations. The features of destruction studied weld metal in conditions of shock. Established that horizontal vibration for oscillation amplitude 0.3 mm shock durability increases by 1,2 times.

**Keywords:** powder-like wires, shock loadings, microstructure, morphology of surface.

### References

1. Yuksel N., Sahin S. 1Wear behavior–hardness–microstructure relation of Fe–Cr–C and Fe–Cr–C–B based hardfacing alloys. *Materials and Design* 58, 2014. P. 491–498.
2. Sorour A. A., Chromik R. R., R. Gauvin, I. H., Brochu M. 2Understanding the solidification and microstructure evolution during CSC-MIG welding of Fe–Cr–B-based alloy. *Material scharacterizaon* 86., 2013. P. 127 – 138
3. Pohmurska H.V., Voytovich A. A. Impact-abrasive wear of the surface layers, flux cored wire system Fe -Cr-B- C. *Scientific Bulletin NLTU Ukraine*. 2015. 25.3. P. 129 – 135.
4. Shufeng Wanga, Huiqi Li, Xiang Chenb, Jing Chia, Min Li, Lu Chai, Hui Xua. Improving microstructure and wear resistance of plasma clad Fe-based alloy coating by a mechanical vibration technique during cladding. *Materials Science and Engineering A* 528, 2010. P.397–401.
5. Pul'ka Ch. V., Shablyy O. N., Senchyshyn V. S., Sharik M. V., Hordan' H. N. Влияние вибраций детали в процессе наплавки на структуру и свойства металла. *Automatic welding* № 1,705, 2012. P. 27 - 29.